

## DESAIN SISTEM PENGATURAN POSISI SUDUT *AERO PENDULUM* BERBASIS PID METODE *GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION* DENGAN *SOFTWARE LABVIEW*

**Muhammad Eko Prasetyo**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia  
e-mail : mprasetyo16050874005@mhs.unesa.ac.id

**Endryansyah**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia  
e-mail : endryansyah@unesa.ac.id

### Abstrak

Aero pendulum merupakan salah satu perangkat dari penerapan teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dengan memanfaatkan single-rotor pada perancangannya. Rancangan aero pendulum terdiri dari pendulum, dimana pada ujung lengan pendulum terdapat baling-baling bermotor yang berfungsi untuk memberi gaya dorong sesuai dengan posisi sudut lengan yang diinginkan. Terdapat suatu permasalahan dari sistem pengaturan sudut aero pendulum yaitu stabilitas posisi sudut lengan saat mencapai sudut yang diinginkan. Dengan menggunakan pengendali PID metode Genetic Algorithm (GA) optimization pada perangkat aero pendulum mampu menghasilkan stabilitas pada lengan pendulum ketika dioperasikan dan respon kinerja perangkat dapat dipantau secara real-time melalui Graphical User Interface (GUI) software LabVIEW. Implementasi pengendali PID metode GA pada sistem dengan pengujian setpoint sudut  $45^\circ$  menghasilkan nilai respon dengan data dengan waktu puncak (tp) sebesar 5,28 detik, waktu tunda (td) sebesar 1,457 detik, waktu naik ( $tr=10-90\%$ ) sebesar 4,054 detik, waktu tunak ( $ts=5\%$ ) sebesar 3,379 detik, dan nilai error steady state sebesar 0,0116%.

**Kata Kunci:** Aero Pendulum, PID, Genetic Algorithm Optimization, LabVIEW.

### Abstract

Aero pendulum is one of the devices of the application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology by utilizing single-rotor in its design. The aero pendulum design consists of a pendulum, where at the end of the pendulum arm there is a motorized propeller that serves to provide the thrust force in accordance with the desired angle position of the arm. There is a problem with the aero pendulum angle adjustment system, which is the stability of the arm's angle position when it reaches the desired angle. By using the PID controller Genetic Algorithm (GA) optimization method on the aero pendulum device is able to produce stability of pendulum arm when it is operated and the device's performance response can be monitored in real-time through LabVIEW's Graphical User Interface (GUI) software. Implementation of GA method PID controller on the system with  $45^\circ$  setpoint angle produces response values with time peak (tp) of 5,28 seconds, delay time (td) of 1,457 seconds, rise time ( $tr=10-90\%$ ) of 4,054 seconds, settling time ( $ts=5\%$ ) of 3,379 seconds, and error steady state of 0,0116%.

**Keywords:** Aero Pendulum, PID, Genetic Algorithm Optimization, LabVIEW

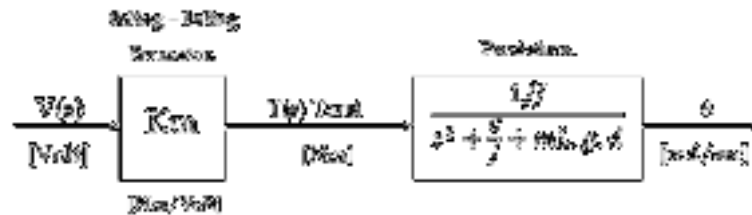
### PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi kendaraan udara tanpa awak atau *Unmaned Aerial Vehicale* (UAV) telah memicu pengembangan teknologi otonom untuk berbagai pemanfaatan aplikasi pada bidang sipil dan militer, intervensi di lingkungan yang bermusuhan, pemantauan polusi udara, dan pemetaan wilayah (Castillo dkk, 2005).

Beberapa peneliti melakukan pengembangan pada tipe *single-rotor* UAV dimana tipe ini memiliki keuntungan penggunaan motor/baling-baling yang lebih sedikit, pengurangan kompleksitas dalam perancangan, tidak menggunakan *gearbox*, dan lebih ekonomis (Wernicke, 2000). Salah satu pemanfaatan pada tipe *single-rotor* dapat diuji pada sistem *aero pendulum*.

Dalam pengimplementasian *single-rotor* pada *aero pendulum*, terdapat permasalahan stabilitas dan kontrol penerbangan yang lebih sulit dikendalikan karena adanya kekekalan momentum sudut (Moon dkk, 2018). Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu adanya *controller* untuk meningkatkan respon dan stabilitas sudut pada *aero pendulum* sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Salah satu *controller* yang dapat digunakan pada sistem *aero pendulum* adalah kendali PID (*Proptional Intgral Derivative*).

Pada tahun 2019, Aris Dwi Romadhon membuat penelitian dengan judul "Desain Sistem Pengaturan Posisi Sudut *Aero Pendulum* Menggunakan Pengendali PID Berbasis Labview". Dari makalah penelitian tersebut,



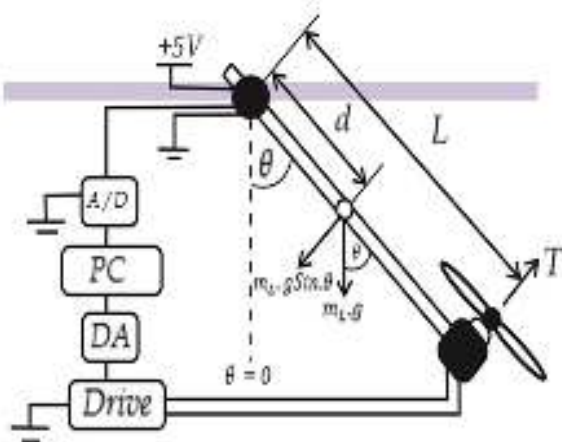
Gambar 2. Diagram blok sistem *open-loop* dari *aero pendulum*  
(Sumber: Job dan Jose, 2015)

pengujian *aero pendulum* diterapkan dengan kendali PID melalui *Zigler-nichols tuning method*. Pengujian *hardware aero pendulum* dilakukan dengan menggunakan *software* LabView 2014. Dari Hasil pengujian pada penelitian ini, sistem dapat melakukan uji *self stabilizing* sesuai dengan *set point* yang sudah ditentukan dan menghasilkan *error steady state* sebesar 0,069% pada *set point* 45° dan *error steady state* 0.299% pada *set point* 60°.

Pada gambar diagram 1, *aero pendulum* digambarkan dengan motor DC dan baling-baling diletakkan pada ujung tongkat. Saat motor DC diberikan tegangan, baling-baling berputar dan menghasilkan torsi  $T$  untuk menarik pendulum. Keuntungan dari sistem *aero pendulum* adalah pergerakan pendulum dapat kita kontrol melalui pengaturan tegangan yang diberikan pada motor DC dengan baling-baling. Oleh karena itu, variabel kontrol untuk sistem ini adalah sudut pendulum dan variabel yang dimanipulasi adalah tegangan yang diberikan kepada motor DC dengan baling-baling (Khoygani dkk, 2013).

Menurut momentum sudut dan hukum Newton, gerak *pendulum* dapat diturunkan sebagai persamaan berikut ini:

$$J \cdot \ddot{\theta} + c \cdot \dot{\theta} + m_L \cdot g \cdot d \cdot \theta = T \quad (1)$$



Gambar 1. Diagram sistem *aero pendulum*  
(Sumber : Khoygani dkk, 2013)

Dari persamaan (1) diatas akan di *laplace* menggunakan domain ( $s$ ) menjadi :

$$J \cdot s^2 \theta(s) + c \cdot s \theta(s) + m_L \cdot g \cdot d \theta(s) = T(s) \quad (2)$$

Dari persamaan tersebut di dapatkan fungsi alih:

$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{1}{J \cdot s^2 + c \cdot s + m_L \cdot g \cdot d} \quad (3)$$

Dapat disederhanakan, kemudian:

$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{1/J}{s^2 + \frac{c}{J} \cdot s + \frac{m_L \cdot g \cdot d}{J}} \quad (4)$$

(Sumber: Raju dkk, 2012)

Untuk mendapatkan persamaan dengan variabel yang dimulasi sebagai sistem kendali pendulum yang disesuaikan oleh tegangan yang diberikan akibat gaya dorong. Maka, persamaan rasional antara motor brushless DC dan daya dorong  $T$  terhadap Tegangan ( $V$ ) yang diterapkan dapat ditulis sebagai berikut:

$$T(s) = K_m \cdot V(s) \quad (5)$$

Dengan berdasarkan persamaan (4) dan (5). Diagram blok dari sistem *aero pendulum* ditunjukkan pada gambar 2.

Dari gambar 2, *transfer function* dari sistem *aero pendulum* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_m/J}{s^2 + \frac{c}{J} \cdot s + \frac{m_L \cdot g \cdot d}{J}} \quad (6)$$

Keterangan :

$s$  = hasil dari Laplace dalam domain waktu

$T$  = gaya dorong yang disediakan oleh motor *brushless* DC (Nm/kg)

$T(s)$  = gaya dorong dalam domain waktu (*Laplace*)

$V$  = tegangan yang diterapkan pada motor *brushless* DC (Volt)

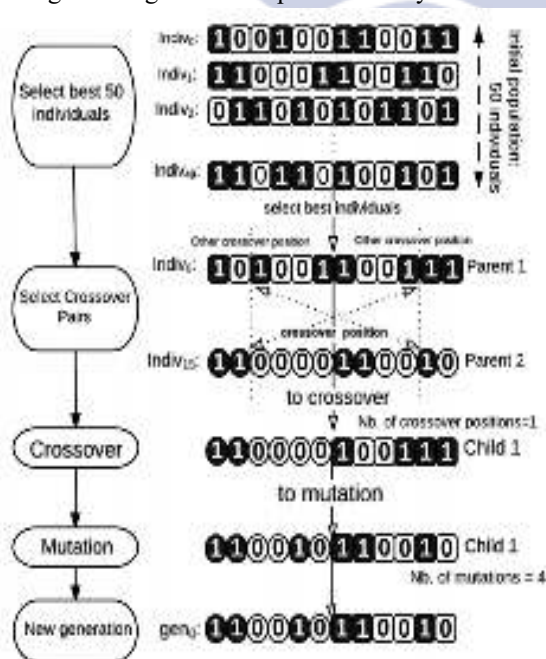
$V(s)$  = tegangan dalam domain waktu (*Laplace*)

$\theta$  = sudut (derajat)  
 $\theta$  (s) = sudut dalam domain waktu (*Laplace*)  
 $\dot{\theta}$  = kecepatan sudut (rad/s)  
 $\ddot{\theta}$  = percepatan sudut (rad/s<sup>2</sup>)  
 $K_m$  = parameter motor propeller  
 $m$  = berat bandul (kg)  
 $d$  = jarak dari titik gantung ke pusat massa (m)  
 $J$  = momen inersia (kg.m<sup>2</sup>)  
 $g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
 $c$  = koefisien redaman kental (kg.m<sup>2</sup>/s)

(Sumber: Romadhon, 2019)

Dalam sistem *aero pendulum*, kendali yang digunakan dalam penelitian adalah kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Kendali PID merupakan pengontrol untuk menentukan ketepatan sistem instrumentasi dengan ciri-ciri adanya umpan balik pada sistem tersebut (Wang dan Shen, 2018). Komponen Pengendali PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu: *proprtional*, *integral* dan *derivative*. Ketiganya dapat digunakan sekaligus, sendiri-sendiri tergantung dari respons yang kita inginkan terhadap suatu *plant* (waluyo dkk, 2013).

Metode yang digunakan dalam penentuan parameter PID adalah metode *Genetic Algorithm* (GA) *optimization*. Metode *Genetic Algorithm* (GA) *optimization* adalah optimisasi dengan teknik pencarian secara adaptif global stokastik berdasarkan mekanisme seleksi alam (Fonseca dan Fleming, 1993). GA telah diakui sebagai teknik yang efektif dan efisien untuk menyelesaikan masalah optimisasi dibandingkan dengan teknik optimasi lainnya.



Gambar 3. Garis besar metode GA  
 (Sumber : Alkindy dkk, 2010)

GA dimulai dengan *initial population* yang mengandung sejumlah individu *chromosome*, dimana masing-masing individu *chromosome* mewakili solusi dari masalah yang kinerjanya dievaluasi oleh *fitness function*. Pada dasarnya, GA terdiri dari tiga tahapan utama yaitu *selection*, *crossover*, dan *mutation*. Penerapan ketiga tahapan tersebut memungkinkan terciptanya individu baru yang mungkin lebih baik daripada individu awal. Proses GA akan diulangi selama beberapa generasi dan berhenti ketika individu yang mewaliki solusi optimal untuk masalah tersebut telah dijangkau sesuai harapan yang diinginkan (Thomas dan Poongodi, 2009).

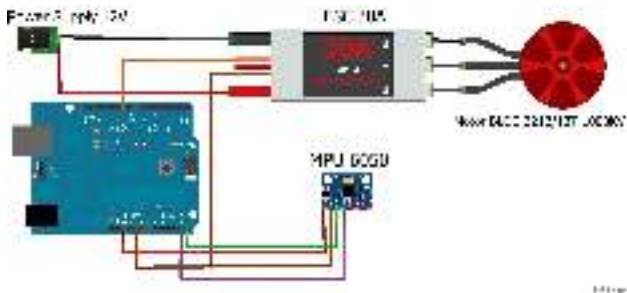
Dari gambar 2.8, tahapan utama terletak pada *selection*, *crossover*, dan *mutation*. Penjelasan dari masing-masing tahapan adalah (Alden H.Wright, 1991):

1. *Selection* : berfungsi untuk menyeleksi "*target sampling rate*" untuk setiap individu. Jumlah target pengambilan individu sebagai *parent* sesuai dengan jumlah *child* yang diharapkan untuk individu tersebut (H. Kala, 2013).
2. *Crossover* : adalah teknik reproduksi yang mengambil dua individu *parent* dan menghasilkan dua individu *child*. Metode *crossover* yang biasa digunakan disebut *crossover satu titik*. Dalam metode ini, kedua individu *parent* dibagi menjadi *gen chromosome* kiri dan kanan, di mana *gen chromosome* kiri masing-masing *parent* memiliki panjang yang sama, dan *gen chromosome* kanan masing-masing *parent* memiliki panjang yang sama. Kemudian setiap anak mendapat *gen chromosome* kiri dari satu *parent* dan *gen chromosome* kanan dari *parent* lainnya.
3. *Mutation* : adalah operasi reproduksi umum yang digunakan untuk menemukan poin baru di ruang pencarian untuk dievaluasi. Ketika individu dipilih untuk *mutation*, pilihan acak dibuat dari beberapa *gen chromosome*, dan *gen-gen* ini dimodifikasi.

Pemrosesan dan visualisasi data dilakukan dengan menggunakan software LabVIEW. Untuk dapat berkomunikasi dengan Arduino, LabVIEW memerlukan perangkat lunak tambahan, yaitu VISA (*The Virtual Instrument Software*) yang merupakan perangkat lunak untuk konfigurasi, pemrograman dan pemecahan masalah sistem instrumentasi, PXI, serial, ethernet, dan antarmuka USB (Suryantoro dan Budiyanto, 2019).

Dengan berdasarkan latar belakang saran pada penelitian sebelumnya dan hasil studi literatur pada penelitian ini, maka penelitian ini dilakukan dengan judul "Desain Sistem Pengaturan Posisi Sudut *Aero Pendulum* Menggunakan Pengendali PID dengan Metode *Genetic Algorithm Optimization* berbasis LABVIEW".



Gambar 4. Rancang bangun *aero pendulum*

Perancangan sistem kendali pada penelitian ini diharapkan memiliki hasil *output* pengendalian dan stabilitas posisi sudut yang lebih baik dari sistem kendali pada penelitian sebelumnya.

## METODE

### Pendekatan Penelitian

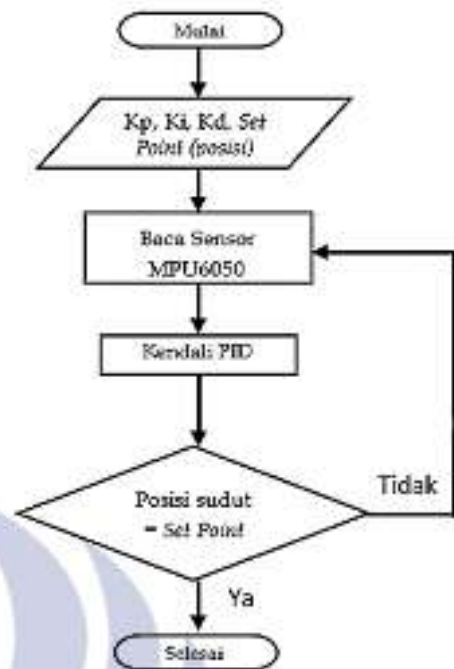
Jenis pendekatan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Metode kuantitatif melibatkan proses pengumpulan, analisis, interpretasi, dan penulisan hasil penelitian. Metode kuantitatif digunakan dalam survei dan penelitian eksperimental yang berkaitan dengan identifikasi sampel dan populasi, menentukan jenis desain, mengumpulkan dan menganalisis data, penyajian hasil, pembuatan interpretasi, dan penulisan suatu penelitian dengan studi eksperimen atau survei (creswell, 2003).

### Rancang Bangun Hardware

Perancangan perangkat keras (*Hardware*) merupakan desain bagian-bagian komponen yang dirancang untuk penelitian sistem *aero pendulum*. Komponen yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor arduino UNO, sensor MPU 6050, motor *brushless* DC, dan ESC 30A. Perancangan *hardware* sistem *aero pendulum* dapat dilihat pada Gambar 4.

### Desain Sistem

Desain diagram blok sistem pengendalian posisi sudut pada *aero pendulum* dengan kendali PID metode GA ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Diagram Blok sistem *aero pendulum*Gambar 6. Diagram alir algoritma *software*

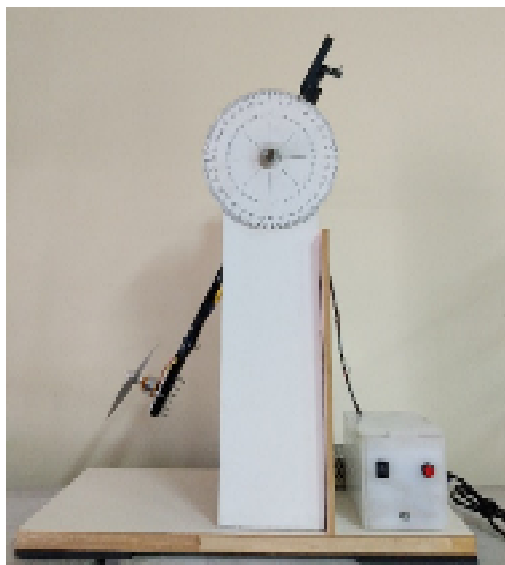
Pada sistem *Aero Pendulum*, nilai masukan (*Set point*) sistem berupa posisi sudut. Kendali *Proporsional-Integral-Derivative* Menggunakan metode *tuning Genetic Alghorithm Optimization*, dimana hasil parameter PID digunakan pada Arduino UNO berperan sebagai controller pada proses *self stabilizing control* dalam sistem *aero pendulum*. Hasil dari keluaran controller berupa sinyal PWM yang akan masuk ke *Electrical Speed Control* (ESC) 30A yang selanjutnya menghasilkan *output* tegangan sebagai pengatur kecepatan motor *brushless* DC. Sensor MPU6050 akan bekerja untuk membaca nilai posisi sudut pada *plant* dari pergerakan lengan pendulum yang terkena daya dorong dari putaran *propeller* akibat motor *brushless* DC dan nilai pembacaan posisi sudut digunakan sebagai *feedback*. Lalu, adanya beban fisik adalah sebagai gangguan yang berupa pemberat.

### Rancang Bangun Software

Pada rancang bangun *software* LabVIEW 2014 sebagai pemrosesan data pada sistem *aero pendulum* dilakukan sesuai dengan algoritma pada gambar 6.

Tahapan diagram alir algoritma *software* pada gambar 3.6 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Masukkan nilai kendali PID yaitu  $K_p$  (konstanta *proportional*),  $K_i$  (konstanta *integral*) dan  $K_d$  (konstanta *derivative*) serta pemberian nilai sudut sebagai *set point*.



Gambar 7. *Aero Pendulum*

- Pembacaan nilai sudut dilakukan oleh sensor MPU 6050 yaitu berupa sudut yang dibentuk oleh lengan *Aero Pendulum*.
- Melakukan pengendalian PID untuk menyeimbangkan posisi sudut *aero pendulum* agar sesuai set point dengan cara menggerakkan motor *brushless DC*.
- Apabila lengan *aero pendulum* berada pada posisi sudut sesuai *set point* yang diinginkan maka *self stabilizing control* terhadap kendali PID berhasil diterapkan. Namun, jika sudut kemiringan tidak sesuai dengan sudut *set point*. Maka, akan dilakukan pengoreksian terhadap selisih data *error* sampai didapatkan nilai posisi sudut yang sama dengan sudut *set point*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, *hardware* *aero pendulum* akan diujikan dengan menggunakan *software* LabVIEW sebagai visualisasi dan pemrosesan data.

### Pemodelan Sistem *Aero Pendulum*

Untuk mendapatkan pemodelan sistem, spesifikasi *hardware* dimasukkan ke dalam fungsi alih yang telah diketahui. Gambar 7 menunjukkan *hardware aero pendulum* dan tabel 1 adalah tabel spesifikasinya.

Dari tabel spesifikasi *aero pendulum*, didapatkan *transfer function* pada persamaan (7):

$$G(s) = \frac{13.6719}{s^2 + 0.000195s + 12.25} \quad (7)$$

Tabel 1. Spesifikasi *aero pendulum*

Parameter	Spesifikasi	Satuan
Panjang Lengan ( $L$ )	0,4	m
Panjang pusat massa ( $d$ )	0,2	m
Massa ( $m$ )	0,32	Kg
Momen Inersia ( $J$ )	0,0512	Kg.m <sup>2</sup>
Percepatan gravitasi ( $g$ )	9,8	m/s <sup>2</sup>
Koefisien redaman ( $c$ )	0,0001	Kg.m <sup>2</sup> /s

(Sumber: Romadhon, 2019)

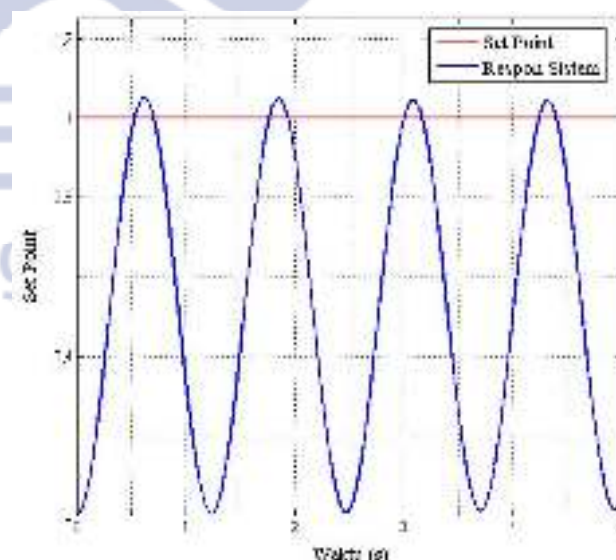
Dari *transfer function* yang dihasilkan dapat di simulasikan sistem *aero pendulum* menggunakan LABVIEW tanpa kendali PID dan didapatkan hasil respon pada gambar 8, dimana respon yang dihasilkan tidak bisa stabil sehingga tidak dapat memenuhi *setpoint* sudut yang diinginkan. Maka, perancangan kendali PID metode GA perlu diterapkan pada penelitian ini.

### Perancangan Kendali PID

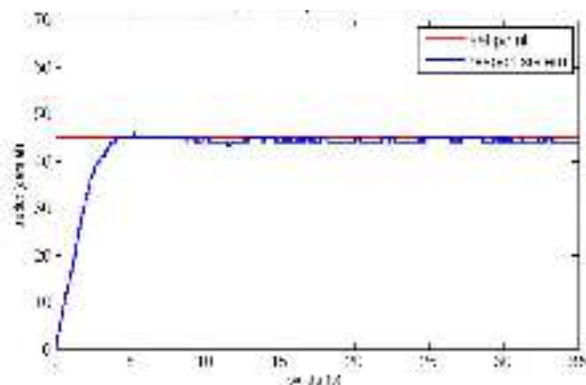
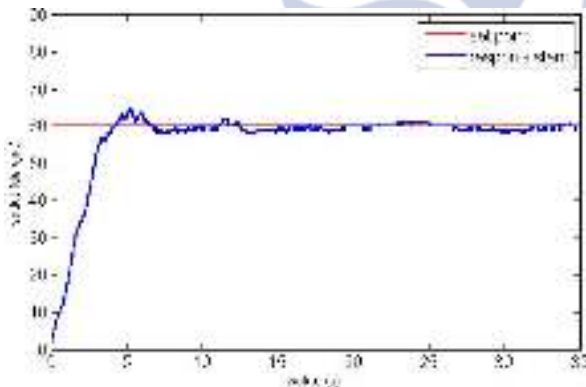
Metode GA digunakan perancangan kendali PID untuk mendapatkan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ . Dalam penggunaan metode GA, *transfer function* yang didapatkan selanjutnya ditambahkan sebagai *fitness function* dengan menggunakan coding MATLAB sebagai penguji individu atau parameter PID nantinya.

Dengan menggunakan MATLAB *optimization tools*, parameter yang digunakan untuk pemrosesan metode GA adalah sebagai berikut:

<i>Number of variables</i>	= 3
<i>Population size</i>	= 50
<i>Generations</i>	= 6



Gambar 8. Grafik respon sistem tanpa kendali PID

Gambar 9. GUI LabVIEW *aero pendulum*Gambar 10. Respon sistem pada *setpoint* 45°Gambar 11. Respon sistem pada *setpoint* 60°

Setelah menjalankan *solver* dari *optimization tools* metode GA didapatkan final point sebagai parameter PID sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_p &= 0,91 \\ K_i &= 6,529 \\ K_d &= 0,65 \end{aligned}$$

#### Pengujian Hardware Aero Pendulum

Setelah didapatkan parameter PID, selanjutnya *hardware aero pendulum* dapat diujikan menggunakan

LabVIEW sebagai GUI dan menampilkan data grafik secara *real-time*. Berikut adalah tampilan GUI LabVIEW yang ditunjukkan pada gambar 9.

Pada gambar 9, GUI *aero pendulum system* terdapat "SERIAL PORT" sebagai pemilih *port* yang digunakan untuk komunikasi serial pada arduino, Pengaturan "baudrate" yang dapat dirubah sesuai yang digunakan pada program arduino, "Stop" untuk menghentikan program, "Read" sebagai pemicu pembacaan serial, "save" untuk menyimpan data respon yang dihasilkan, parameter PID yang digunakan, dan grafik respon sistem sudut terhadap waktu.

Pengujian *hardware aero pendulum* dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

#### Pengujian dengan *Setpoint* tetap

Dari hasil pengujian pada gambar 10 dan 11 menunjukkan respon dapat mengikuti sudut *setpoint* yang diinginkan, serta memiliki respon yang stabil jika dibandingkan respon tanpa kendali PID pada gambar 8. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian *hardware aero pendulum*. Pada *setpoint* 45° *overshoot* maksimum yang dihasilkan lebih rendah daripada *setpoint* 60° dikarenakan karakteristik yang ditimbulkan oleh parameter diantara  $K_p$  dan  $K_i$  memiliki nilai parameter yang besar. Lalu, dari kedua respon gambar 10 dan 11, kestabilan *steady state* yang ditimbulkan oleh karakteristik parameter  $K_d$  pada *setpoint* 45° menghasilkan lebih sedikit error 0,0116%, dibandingkan pada *setpoint* 60° memiliki nilai error 0,0308%.

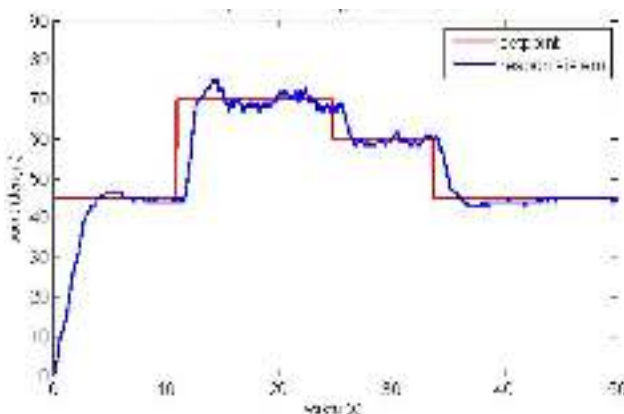
#### Pengujian *Setpoint* Berubah

Pengujian kedua dilakukan dengan cara merubah nilai *setpoint* untuk mengetahui respon kendali PID mampu mengikuti perubahan *setpoint*. Perubahan *setpoint* dimulai dari sudut 45°, 70°, 60°, dan 45°. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 12.

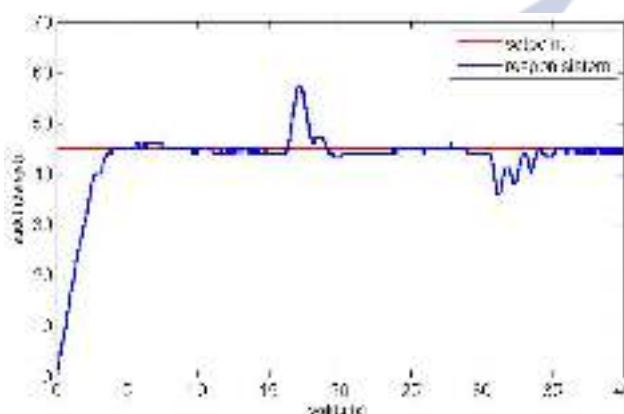
Tabel 2. Hasil pengujian *hardware aero pendulum*

<i>Setpoint</i>	45°	60°	Satuan
<i>Overshoot</i> Maksimum (Mp)	41	65	Derajat
Waktu Puncak (tp)	5,28	5,24	Detik
Waktu Tunda (td)	1,457	1,6	Detik
Waktu Naik (tr)	4,054	4,263	Detik
Waktu Tunak (ts)	3,379	7,458	Detik
<i>Error Steady State</i>	0,0116	0,0308	%

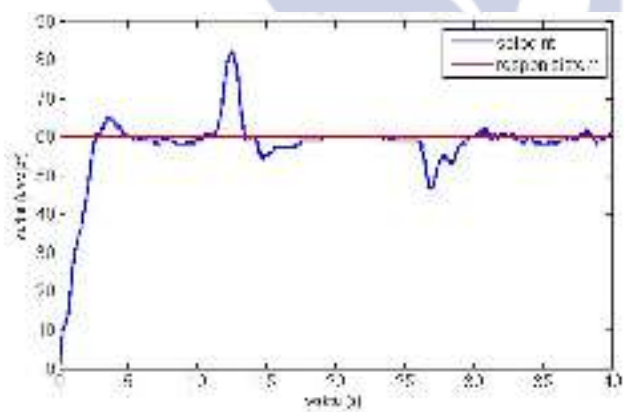




Gambar 12. Respon sistem terhadap perubahan *setpoint*



Gambar 13. Respon sistem *setpoint* 45° dengan beban



Gambar 14. Respon sistem *setpoint* 60° dengan beban

Tabel 3. Hasil Pengujian menggunakan beban

<i>Setpoint</i>	<i>Error Steady State</i>
45°	0,0093 %
60°	0,009%

Dari gambar 12, pada masing-masing perubahan sudut menunjukkan sistem kendali PID mampu mengikuti *setpoint*. Namun, pada *setpoint* sudut 70°, respon yang

dihasilkan memiliki *overshoot* dan *error steady state* paling banyak dikarenakan gaya momentum dari *Aero Pendulum* mengakibatkan kendali PID kurang mampu menyetabilkan sistem. Pada saat penurunan *setpoint*, respon yang dihasilkan cukup stabil untuk mengurangi *error steady state* pada masing-masing *setpoint*.

### Pengujian dengan Menggunakan Beban

Pengujian ketiga dilakukan dengan menambahkan beban fisik seberat 40 gram ketika *aero pendulum* dioperasikan pada sudut 45° dan 60°, kemudian beban tersebut dilepaskan. Gambar 13 menunjukkan respon sistem menggunakan beban pada sudut 45° dan gambar 14 pada sudut 60°. Tabel 3 menunjukkan hasil *error steady state* pengujian menggunakan beban. Pada saat sistem dimulai, baik pada *setpoint* 45° dan *setpoint* 60° memiliki karakteristik respon yang sama dengan gambar 10 dan 11. Ketika diberikan beban, kedua respon pergerakan sudut sama-sama menghasilkan respon *overshoot* dan mampu untuk kembali ke respon *steady state*. Lalu, ketika beban dilepaskan, kedua respon sama-sama menghasilkan respon *undershoot* dan mampu mengembalikan respon ke *steady state* dengan nilai *error steady state* pada sudut 45° sebesar 0,0093% dan pada sudut 60° sebesar 0,009%.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil data yang diperoleh dalam penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pengaturan sudut *aero pendulum* berbasis metode *genetic algorithm optimization* dengan *software LabVIEW* mampu menghasilkan kestabilan respon terhadap *setpoint* yang ditentukan dan mampu meminimal nilai *error steady state* pada sistem. Dari hasil *tuning* parameter PID menggunakan metode GA dengan  $K_p = 0,91$ ;  $K_i = 6,529$ ;  $K_d = 0,65$  didapatkan hasil yang merujuk pada tabel 2, pada *setpoint* sudut 45° menghasilkan respon sistem yang lebih baik dibandingkan *setpoint* 60°, dengan waktu puncak ( $t_p$ ) sebesar 5,28 detik, waktu tunda ( $t_d$ ) sebesar 1,457 detik, waktu naik ( $t_r = 10-90\%$ ) sebesar 4,054 detik, waktu tunak ( $t_s = 5\%$ ) sebesar 3,379 detik, dan nilai *error steady state* sebesar 0,0116%.

### Saran

Berdasarkan penelitian ini dan penelitian sebelumnya, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengembangan baik dari segi *hardware* ataupun *software* dengan metode optimasi dan jenis pengendali yang lain untuk mendapatkan nilai respon yang lebih baik. Selain itu, penggunaan GUI dapat

dikembangkan dengan menggunakan *software* selain LabVIEW.

#### DAFTAR PUSTAKA

- C. M. Fonseca and P. J. Fleming. 1993. "Genetic algorithms for multiobjective optimization: formulation discussion and generalization", *Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 416-423.
- Castillo P, Lozano R, Dzul A. 2005. "Stabilization of a mini rotorcraft with four rotors". *IEEE Control Syst. Mag.*, 25: 45-50.
- Creswell, John W. 2003. *Research design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. California: SAGE Publications, Inc.
- Hery Suryantoro dan Almira Budiyo. 2019. "PROTOTYPE SISTEM MONITORING LEVEL AIR BERBASIS LABVIEW & ARDUINO SEBAGAI SARANA PENDUKUNG PRAKTIKUM INSTRUMENTASI SISTEM KENDALI". *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*. Vol 1 (3). Hal. 20-32.
- Jae-Sung Moon, Choonghyun Kim, Youngil Youm dan Joonbum Bae. 2018. "UNI-Copter: A portable single-rotor-powered spherical unmanned aerial vehicle (UAV) with an easy-to-assemble and flexible structure". *Journal of Mechanical Science and Technology* 32 (5). pp 2289-2298.
- K. G. Wernicke. 2000. "The Single-Propeller Driven Tailsitter is the Simplest and Most Efficient Configuration for VTOL UAVs" *2000 International Powered Lift Conference Proceedings*, vol. 1.
- Kala, H. dkk. 2013. "System Identification and Comparison of Ziegler-Nichols and Genetic Algorithm for Moisture Process". *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN ELECTRICAL, ELECTRONICS, INSTRUMENTATION AND CONTROL ENGINEERING*. Vol 1, issue 9.
- Khoygani, Mohamad Reza Rahimi dkk. 2013. "Design Controller for a Class of Nonlinear Pendulum Dynamical System". *International Journal of Artificial Intelligence*. Vol. 2, No. 4, pp. 159-168.
- Mila Mary Job dan Subha Hency Jose, P. 2015. "Modeling and control of mechatronic aeropendulum". *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*.
- Neenu Thomas dan Poongodi. 2009. "Position Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PID Controller". *World Congress on Engineering 2009*. Vol II.
- Raju, S.Srinivasulu dkk. 2012. "Design of Quadratic Dynamic Matrix Control for Driven Pendulum System". *International Journal of Electronics and Communication Engineering*. Vol.5. pp.363-370.
- Romadhon, Aris Dwi. 2019. "DESAIN SISTEM PENGATURAN POSISI SUDUT AERO PENDULUM MENGGUNAKAN PENGENDALI PID BERBASIS LABVIEW". *Jurnal Teknik Elektro*. Volume 08 No. 03, 637 – 645.
- Qiqi Wang dan Zhuofan Shen. 2018. "Control Comparison of Inverted Pendulum System Based on PID". *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 394.
- Waluyo dkk. 2013. "Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik". *Jurnal Teknik Elektro Itenas*. Vol. 1.
- Wright, Alden H. 1991. "Genetic Algorithms for Real Parameter Optimization". *Department of Computer Science University of Montana*.